

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Srovnání parametrů vakuových vypínačů a stykačů do 17,5 kV.
Parameters comparison of vacuum switchers and contactors up to 17,5 kV.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Darda**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Srovnání parametrů vakuových vypínačů a stykačů do 17,5 kV.
Parameters comparison of vacuum switchers and contactors up to 17,5 kV.

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte podstatu působení vakuových spínacích přístrojů.
2. Definujte rozdíly v činnosti vypínače a stykače.
3. Proveďte srovnání parametrů vakuových stykačů a vypínačů vn, předních výrobců v EU.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

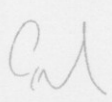
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne: 6. 5. 2011

Michal Darda

Poděkování:

Autor této bakalářské práce děkuje za vedení a poskytnuté rady Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vysvětlení funkce a srovnání parametrů vakuových spínacích přístrojů (vypínačů a stykačů).

V teoretické části jsou vysvětleny základní pojmy, problematika vypínání oblouku ve vakuu a podrobně vysvětlen princip funkce vakuových zhášedel. Následuje definování rozdílů funkce mezi vakuovými vypínači a stykači a jsou zde také uvedeny jejich příklady.

Ve srovnávací části jsou nejprve publikovány jednotlivé typy vakuových stykačů největších výrobců v EU, zde je uveden jejich stručný popis, tabulka s vybranými technickými parametry a obrázek. Vše je zakončeno jejich vzájemným srovnáním. Stejným způsobem jsou publikovány i vakuové vypínače a v závěru je opět provedeno jejich srovnání.

Klíčová slova

Vypínač, stykač, vakuum, elektrický oblouk, spínání, zhášedlo, kontakty, výzbroj

Abstract

The purpose of this thesis is to explain the function and comparing the parameters of vacuum switchgear (circuit breakers and contactors).

The theoretical part explains the basic concepts, problems switching arc in a vacuum and is explained in detail the operating principles of vacuum interrupters. The following features define the difference between the vacuum circuit breakers and contactors, and there are also given examples.

In comparison part are given the different types of vacuum contactors largest producers in the EU, there is given a brief description of selected technical parameters and image. Everything is completed by their comparison. In the same way is given comparison of vacuum circuit breakers and in the end is once again made the comparison.

Keywords

Switch (circuit breaker), contactor, vacuum, electric arc, switching, interrupter, contacts, equipment

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Název	Jednotka
ABB	Společnost ABB s.r.o.	[-]
AC4	Kategorie spínacího proudu (motory s kotvou nakrátko, spouštění, reverzace, krátkodobý chod)	[-]
Ag	Stříbro	[-]
B	Magnetická indukce	[T]
Bi	Bismut	[-]
C	Uhlík	[-]
Cr	Chrom	[-]
Cu	Měď	[-]
EU	Evropská unie	[-]
f	Frekvence	[Hz]
I	Proud (efektivní)	[A]
I _n	Jmenovitý proud	[A]
m	Hmotnost	[kg]
Mo	Molybden	[-]
P	Tlak	[Pa]
Siemens	Společnost Siemens AG	[-]
t	Čas	[s]
U	Napětí	[V]
VN	Vysoké napětí	[-]
W	Wolfram	[-]

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Podstata působení vakuových spínacích přístrojů.....	8
2. 1. Základní pojmy.....	9
2. 2. Problematika vypínání oblouku ve vakuu.....	10
2. 3. Vakuová zhášedla.....	15
2. 3. 1. Princip funkce zhášedla.....	15
2. 3. 2. Další části zhášedel.....	17
3. Rozdíly v činnosti vypínače a stykače.....	18
3. 1. Obecný vakuový stykač.....	18
3. 1. 1. Princip vypínání vakuového stykače.....	19
3. 2. Obecný vakuový vypínač.....	20
4. Srovnání parametrů vakuových stykačů a vypínačů vn, předních výrobců v EU.....	22
4. 1. Vakuové stykače.....	22
4. 1. 1 Vakuový stykač V-Contact (ABB).....	22
4. 1. 2 Vakuový stykač VSC (ABB).....	23
4. 1. 2 Vakuový stykač 3TL (Siemens).....	24
4. 1. 3. Srovnání publikovaných vakuových stykačů.....	25
4. 2. Vakuové vypínače.....	26
4. 2. 1. Vakuový vypínač ADVAC (ABB).....	26
4. 2. 2. Vakuový vypínač AMVAC (ABB).....	27
4. 2. 3. Vakuový vypínač SION (Siemens).....	28
4. 2. 4. Vakuový vypínač 3AH5 (Siemens).....	29
4. 2. 5. Vakuový vypínač 3AH4 (Siemens).....	30
4. 2. 6. Vakuový vypínač 3AH37/8 (Siemens).....	31
4. 2. 7. Vakuový vypínač VD4 (ABB).....	32
4. 2. 8. Vakuový vypínač VMAX (ABB).....	33
4. 2. 8. Vakuový vypínač VM1 (ABB).....	34
4. 2. 9. Srovnání publikovaných vakuových vypínačů.....	35
5. Závěr.....	35
6. Použitá literatura.....	36
7. Seznam příloh.....	37

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je nejprve teoreticky rozebrat působení vakuových spínacích přístrojů a definovat rozdíly mezi obecným vakuovým vypínačem a obecným vakuovým stykačem. Dále uvést jednotlivé typy vakuových vypínačů a stykačů včetně vybraných technických parametrů od největších výrobců působících v EU. Následně tyto vypínače a stykače mezi sebou porovnat a ten s nejlepšími parametry doporučit.

V příloze uvádím celkové srovnání vakuových vypínačů v přehledné tabulce. Pomocí této tabulky lze snadno najít typ vypínače s hledanou vlastností.



Obr. 1. Vakuové zhášedlo

2. Podstata působení vakuových spínacích přístrojů

Myšlenka využít výborné izolační vlastnosti vakua ke spínání je velmi stará (podle literárních pramenů byl první patent na vakuový spínací přístroj udělen koncem devatenáctého století), ale značně předběhla svou dobu možné realizace se zřetelem k nedostatečně vyvinuté technologii vakuových zařízení. V této době nebylo možné získat čisté odplyněné kontaktní materiály, byly potíže s čerpáním, nebylo možné realizovat vakuovou těsnost spojováním kovů a izolantů. Až teprve po druhé světové válce se začínají přední světové firmy zabývat výzkumem a vývojem vakuových zhášedel. V současné době je rozvoji vakuových spínacích přístrojů na celém světě věnována značná pozornost. Tyto spínací přístroje konkurují klasickým typům vypínačů a v mnohých parametrech je i předčí a dokonce umožnily použít stykače v oblasti vysokého napětí, což dříve nebylo možné. [3]

2. 1. Základní pojmy

Vypínač:

Obecný název přístroje, který zapíná i vypíná elektrický obvod pod proudem, a to jak jmenovitý tak i zkratový proud.

Stykač:

Dálkově ovládaný spínač s častou funkcí. Zapíná a vypíná i malý násobek jmenovitého proudu.

Zhášedlo:

Přístroj, působící na elektrický oblouk tak, aby při jmenovitých i zkratových velikostech proudu uhasnul.

Konstrukční členění:

Části proudovodné:

K částem, které vedou proud, počítáme: svorky přístroje, spojovací části a kontakty. Tyto části jsou v provozu namáhány dvojím způsobem: tepelně a mechanicky. Tepelné namáhání je jednak trvalé, způsobené procházejícím provozním proudem, a jednak zvětšené, způsobené krátkodobými zkratovými proudy. [1]

Izolaci přístroje:

Izolační materiály ve stavbě přístrojů zajišťují upevnění proudovodných částí s dostatečnou mechanickou pevností, elektricky izolovaně od země a od vodičů jiných fází; ve stavu vypnutém pak navíc vzájemnou elektrickou izolaci obou kontaktů. [1]

Mechanismus:

Mechanismem spínacího přístroje rozumíme zařízení, kterým přemísťujeme kontakty z jedné základní polohy do druhé. [1]

Zhášedla:

Zhášedlo je zařízení, ve kterém vhodným způsobem působíme na oblouk tak, aby i při velkých proudech (v řádech desítek kilo-ampérů) uhasnul během nejlépe jedné, nejvýše však jen několika málo setin sekundy. [1]

Výzbroj:

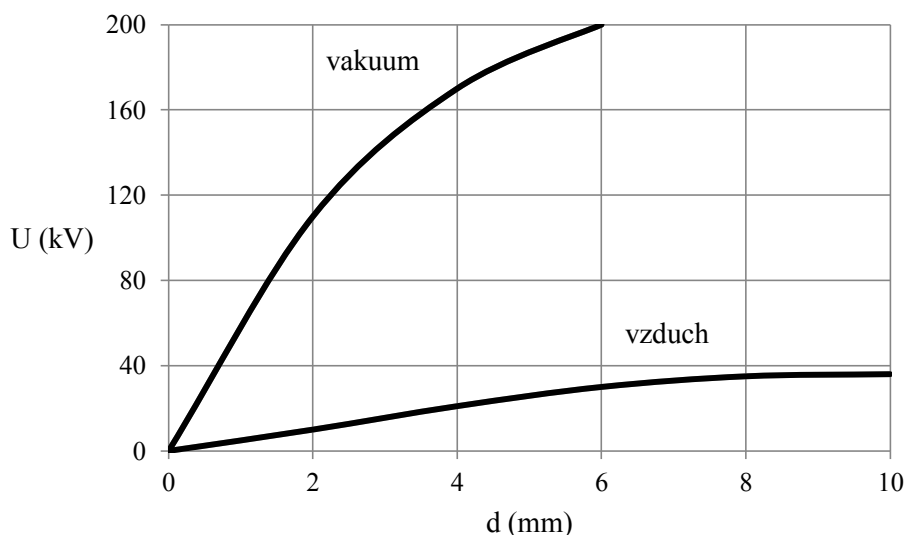
Doplnění nebo rozšíření spínacího přístroje

- a) pomocné signální kontakty, sloužící k signalizaci stavu, k blokování činnosti vlastní nebo spřažených spínačů
- b) dálkové (elektromagnetické) spouště
- c) přímé nadproudé spouště (tepelné, elektromagnetické) nebo spouště podpětíové
- d) dálkové pohony ruční (pákové, řetězové) nebo strojní (elektromagnetické, tlakovzdušné, hydraulické, motorové přímé, střadačové ruční nebo motorové)
- e) podvozek s případným pohybovým příslušenstvím [1]

2. 2. Problematika vypínání oblouku ve vakuu

Na rozdíl od spínání s klasickými zhašecími medii, je třeba řešit u vakuových spínacích přístrojů specifické problémy spojené s pochody vznikajícími při hoření oblouku ve vakuu. Těžiště problematiky vakuového spínání spočívá převážně v konstrukci mechanicky pevné a vakuově těsného pouzdra ve volbě a technologickém zpracování kontaktních materiálů. Jako první materiál na kontakty byla použita čistá měď. Odplynění mědi je však obtížné a často pak docházelo v důsledku nedokonalého odvodu tepla z povrchu kontaktů do okolí (které se může dít jen zářením) k měknutí, deformaci a svaření mědi i bez současného působení oblouku. Tyto zkušenosti s mědí vedly k aplikaci jiných, tepelně odolnějších kovů jako je molybden či wolfram, které se také snáze odplyňují než měď. Objevily se však jiné nesnáze. Zatímco např. wolframem lze dobře řešit otázku svařování, vede jejich aplikace k usekávání proudu již při hodnotách kolem 100 A. Důsledkem je vysoké přepětí a v indukčních obvodech opakované průrazy, neboť studená charakteristika vakuového spínacího přístroje narůstá strmě do značných hodnot. Až s příchodem nových výrobních technologií bylo možno použít slitin (CuBi, WCu, MoCu a hlavně CuCr), které spojují dobré elektrické vlastnosti s vynikající schopností vypínat obvod a vysokou odolností proti svaření.

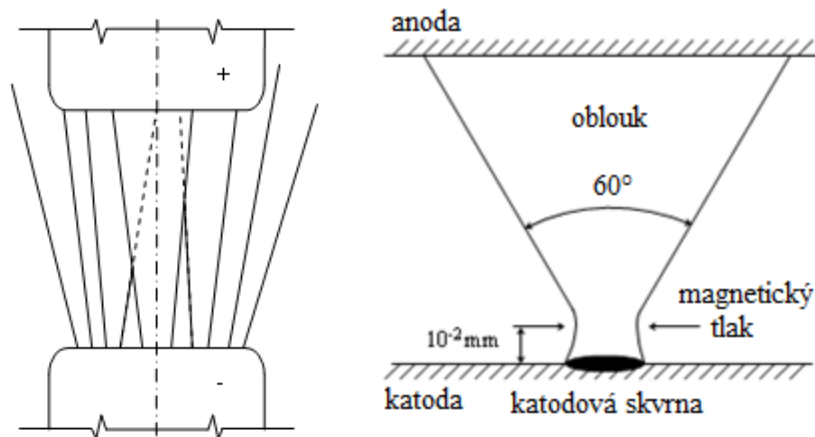
Také tvar elektrod byl výrazně zdokonalen. Od dříve jednoduché válcové konstrukce s čelním stykem se přešlo na spirálové a miskové konstrukce, které velmi zvyšují pohyb oblouku po povrchu kontaktů a axiální magnetická pole podporují tvoření difúzních oblouků i při velmi vysokých proudech. [2]



Obr. 2. Elektrická pevnost prostředí

Vakuová zhašedla jsou k dispozici v širokém rozsahu vysokého napětí od 3,2 kV do 38 kV a mohou spolehlivě vypínat nejvyšší hodnoty zkratového proudu v každé napěťové hladině. Mezi jejich výhody oproti jiným konstrukcím patří zejména možnost použití v extrémních provozech (jsou nehořlavé, nevýbušné, nepůsobí nepříznivě na okolní prostředí ani jím nejsou ovlivňovány). Další výhody: mohou pracovat v libovolné poloze, malý zdvih kontaktů umožňuje použití jednoduchého pohonného mechanismu, po dobu své životnosti se nemusí kontrolovat a jsou snadno recyklovatelná. [2]

Probíhající pochody na oddalujících se kontaktech jsou příčinou vzniku oblouku hořícího v kovových parách emitovaných z katodové skvrny s vysokou teplotou. Na typu materiálu kontaktů je závislá velikost mezního proudu přenášeného katodovou skvrnou. Tento proud se pohybuje v rozmezí 100 až 200 A. Se zvyšujícím se proudem roste také počet katodových skvrn. Z katodových skvrn difundují páry směrem ke chladnější anodě a okolním chladným stěnám, na nichž kondenzují. Při zmenšování proudu směrem k nule ubývá počet katodových skvrn, zmenšuje se množství par, snižuje se množství nosičů náboje, oblouk se stává nestabilním a uhasíná. Oblouk je charakterizován malým napětím oblouku, má difúzní charakter a nazýváme ho vakuovým obloukem. Obr. 3. [2]



Obr. 3. Oblouk ve vakuu

Tento oblouk je limitován velikostí proudu. Při zvětšení proudu nad hranici asi 10 kA (v závislosti na druhu materiálu kontaktů) má plazma oblouku snahu přemísťovat se směrem k anodě, to způsobí zvýšení teploty anody a vytváří se anodová skvrna. Difúzní oblouk tak přejde v oblouk vysokotlaký. Proud ve své nule nezaniká, po komutaci proudu se anoda stává katodou a jsou na ni vytvořeny podmínky pro další hoření oblouku. Zhášení vysokotlakého oblouku je oproti oblouku difúznímu mnohem obtížnější.

Zabránění vzniku anodové skvrny je tedy jedním z nejpodstatnějších úkolů při konstrukci zhašedel vakuových spínacích přístrojů. Prakticky je tomu možno zabránit vytvořením magnetického pole, působícího na oblouk tak, aby k vytvoření anodové skvrny nedošlo. K tomuto účelu je určená zvláštní konstrukce kontaktů vytvářející, dle směru působení na kontakt, radiální nebo axiální pole.

Účinkem radiálního pole se katodové skvrny difúzního oblouku pohybují uspořádaně, popř. se pohybuje anodová i katodová skvrna oblouku v koncentrované formě. Tímto způsobem se elektrodové skvrny dostávají na místa, v nichž jsou horší podmínky pro jejich existenci (studené elektrody). Účinek axiálního pole konkrétní magnetické indukce (asi 0,08 až 0,14 T pro proudy 20 až 40 kA) je poněkud odlišný, neboť jeho působením si oblouk zachovává difúzní charakter i tehdy, jestliže se katodové skvrny nepohybují. Oblouk nabývá charakteru staženého útvaru složeného z paralelních difúzních oblouků (tzv. „multiple arc“) stabilizovaných při minimálním obloukovém napětí (asi 42 až 52 V). Takto hořící dělený oblouk dodává do mezikontaktního prostoru minimální energii, která nedostačuje ke vzniku anodové skvrny.

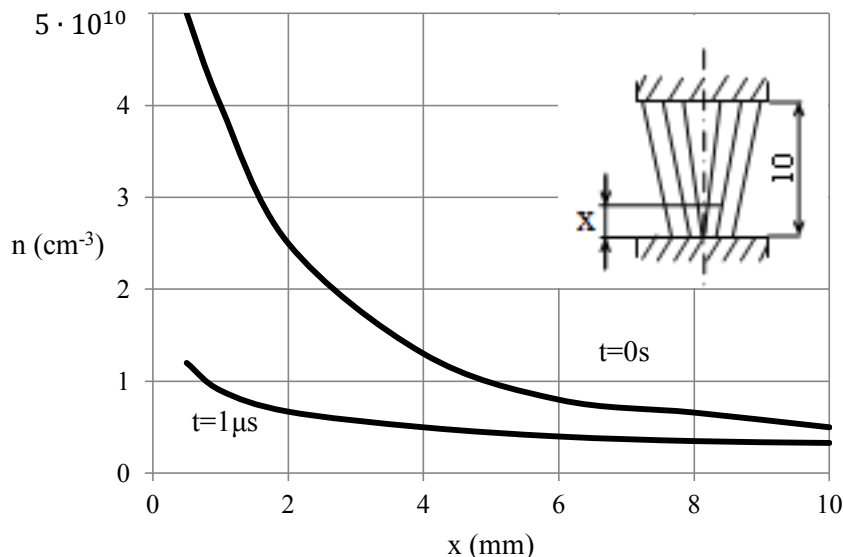
Zánik oblouku je spojen se snížením hustoty par v mezikontaktním prostoru a s rekombinací částic, což je souhrn pochodů, při nichž ionizované částice zanikají. Snížení hustoty par je závislé na časové konstantě ochlazování katodových skvrn, která je v případě difúzního oblouku menší než 1 μ s. V rekombinačních pochodech sehrává nejvýraznější roli difúze částic a její zvláštní forma – ambipolární difúze, která vzniká vlivem rozdílné difúzní konstanty elektronů a kladných iontů.

Elektrony, mající větší difúzní konstantu než kladné ionty, pronikají do prostoru rychleji. Tím dochází k porušení kvazineutality plazmatu a vzniklý prostorový náboj vytváří elektrické pole, které urychluje difúzi kladných iontů a brzdí difúzi elektronů. V ustáleném stavu se difúzní rychlosti částic vyrovnají a prostorové náboje vytvoří jen odpovídající elektrické pole. Účinek zmíněných jevů na deionizaci mezikontaktního prostoru je znázorněn na obr. 4. Rychlá deionizace mezikontaktního prostoru je předpoklad úspěšného zvládnutí extrémních podmínek spínání. Experimentálně bylo ověřeno úspěšné vypnutí při strmých poklesech proudu $di/dt = 500 \text{ A} \cdot \mu\text{s}^{-1}$ a nárůstu zotaveného napětí $18 \text{ kV} \cdot \mu\text{s}^{-1}$.

Rekombinační pochody souhrnně probíhají ve směru příčném k ose oblouku, a proto se nazývají radiální výměna částic. Je to přirozený a účinný způsob deionizace výbojové dráhy.

Při průchodu střídavého proudu nulou zanikají katodové skvrny za dobu asi 10^{-8} s . Atomy par kovů opouštějí prostor mezi kontakty rychlostí 10^3 až 10^4 ms^{-1} . Plná elektrická pevnost prostoru mezi kontakty se obnovuje v době mikrosekund. Rychlé opuštění prostoru (expanze par do okolí) způsobí značné urychlení deionizace. Část kovových par kondenzuje na anodě, část, která uniká z prostoru mezi kontakty, kondenzuje na stínících krytech obklopujících kontakty. Vypínacími pochody dochází tedy ke ztrátě kontaktního materiálu. Tato ztráta je závislá na velikosti vypínacího proudu, fyzikálních vlastnostech kontaktů, na tvaru a velikosti kontaktů. Ztráty u běžně používaných materiálů se zhruba pohybují okolo $10^{-3} \mu\text{g} \cdot \text{C}^{-1}$. Tyto ztráty bývají z hlediska doby životnosti často pro vakuová zhášedla limitující.

Protože ke vzniku vakuového oblouku a k jeho hoření je nutná katodová skvrna a po průchodu proudu nulou a změně polarity elektrod není na katodě (dříve anodě) žádné přehřáté místo schopné generovat kovové páry, nemůže se oblouk znovu zapálit. Vakuový vypínač tedy vypíná v první nule proudu a je vhodný k vypínání střídavých proudů, nikoli stejnosměrných. [2]



Obr. 4. Obsah par materiálu elektrod v oblouku ve vakuu (v nule proudu a $1 \mu\text{s}$ po nule proudu)

Utržení proudu před jeho přirozenou nulou je nejzávažnější problém vakuových zhášedel. Je to způsobeno tím, že při určitém minimálním proudu se neodpaří dostatek kovu katody a oblouk přestane být stabilní. Proud rychle zanikne na nulu. Toto proběhne v době řádu 10^{-8} s a způsobí velké přepětí. Utržení proudu můžeme zmenšit vhodnou volbou materiálu katody nebo změnou tvaru katody. Do základního kontaktního materiálu se přimísí materiál s vyšší tenzí par, který zajistí dostatečné množství kovových par i při nižší teplotě katodové skvrny, nebo vhodným tvarem katody

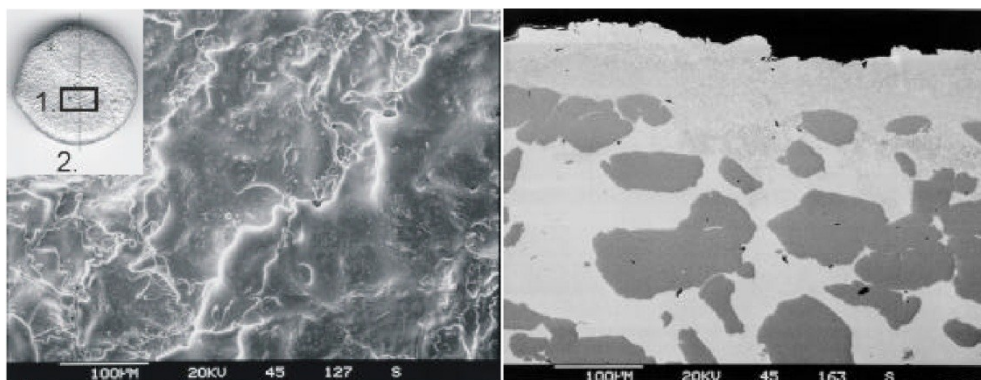
zmenšíme množství odváděného tepla z katodové skvrny do tělesa katody.

Při činnosti kontaktů dochází k mechanickému a elektrickému namáhání obou dílců a tím k trvalým deformacím a úbytku hmoty přenosem materiálu. Jako přenos materiálu označujeme každý úbytek hmoty bez ohledu na to, zda se jeho část znovu ukládá na původní či protější kontakt nebo se všechen rozptýlí do okolí. Rozeznáváme tři základní druhy opotřebení: mechanické opotřebení, můstkový přenos materiálu a obloukový přenos materiálu.

Jako mechanické opotřebení označujeme deformace a případnou ztrátu materiálu při spínání naprázdno, tj. bez průtoku proudu. U spínacích kontaktů jsou ztráty materiálu mechanickým opotřebením zpravidla zanedbatelné, ve srovnání s opotřebením elektrickým.

Můstkový přenos materiálu (dříve nazývaný jemným přenosem) je charakterizován tvořením hrotů na jednom kontaktu a kráterů na kontaktu druhém. Je to důsledek vytažení úžinového můstku nataveného kovu při oddalování kontaktů, ve kterém se jeho nejteplejší místo posouvá ze středu k teplejší elektrodě. Zpravidla teplejší elektrodou bývá anoda, takže výsledkem roztržení můstku v nejteplejším místě je hrot na katodě a kráter na anodě. Množství přeneseného materiálu při jednom vypnutí je sice nepatrné, ale po mnoha tisících spínacích cyklech je popsána deformace jasně patrná. Můstkový přenos materiálu je jev typický pro stejnosměrné obvody podobloukových parametrů.

Obloukový přenos materiálu (někdy označovaný jako hrubý přenos) je naopak typický pro kontakty v silnoprůdových obvodech, jako důsledek jejich tepelného namáhání vypínacím obloukem. Oblouk vlivem své vysoké teploty napadá veškerý materiál ve svém okolí a zanechává na něm trvalé deformační stopy (obr. 5.). Těmto účinkům nelze zabránit, proto často uvádíme oblouk do pohybu. Tím se tepelné rozrušování materiálu nekoncentruje na stejné místo a vedením tepla ve hmotě může docházet k rychlému ochlazování ohřátého povrchu. [2]



Obr. 5. Snímky pořízené elektronovým mikroskopem CuCr kontaktů po několika operacích (povrch a řez kontaktu)

Nejdéle zůstávají ve styku s pevnou hmotou paty oblouku a to právě na kontaktech. I když se snažíme zkrátit zde dobu působení oblouku na minimum, pod určitou hranici jít nelze. Protože opotřebení kontaktů obloukem má vliv na jejich životnost, musíme pro správnou volbu kontaktního materiálu znát jeho odolnost proti účinkům oblouku.

Pokud se při vypínání vytvoří oblouk, dochází k vypaření nejen protaženého úžinového můstku, ale i přilehlých částí na obou kontaktech. Kovové páry o vysoké teplotě rychle expandují z povrchu kovu do okolí. Kontakty však při tom nemusí ztrácet veškerý vypařený kov. Podle okolností větší nebo menší část par zpětně kondenzuje na chladnějších částech elektrod. Zbytek se pak rozptýlí do okolí. Úbytku materiálu vypařením říkáme ztráty primární.

Při velkých proudech a dlouhotrvajících obloucích přistupují ke ztrátám primárním ještě ztráty

sekundární odstříkem. Je to důsledek natavení velkého množství kovu. Kov vře a páry expandující z nitra kovu a strhávají s sebou kapičky roztaveného kovu. Odstříkující kov se jeví jako světelné body, létající do vzdálenosti i několika metrů. Průměr kuliček vychladlého kovu bývá i v řádu milimetrů. Množství odstříknutého kovu není za jinak stejných podmínek u každého kovu stejné. Je větší u kovů, u nichž je velký rozdíl mezi teplotou tavení a teplotou varu. V tomto případě lze očekávat při dosažení teploty varu současnou existenci většího množství tekutého kovu, než u materiálů s menším poměrným teplotním rozdílem mezi tavením a varem.

Při zkouškách životnosti kontaktních materiálů proudem mnoha tisíc ampérů není zapotřebí velkého počtu spínacích cyklů, jako je tomu v případě proudů malých a středních. Úbytky kovů při proudech řádu 10 kA jsou značné a opotřebení kontaktů je patrné po jediném vypnutí. Omezíme-li však při takové zkoušce počet vypnutí, je nutné seřadit zkušební zařízení tak, aby podmínky vypnutí a hoření oblouku byly vždy stejné. To znamená, že mimo velikosti proudu je nutné dodržet dobu hoření oblouku, vypínání provádět synchronně (tj. oddálení kontaktů musí započít vždy ve stejném bodě proudové křivky) a dodržet stejný zdvih kontaktů dráhově i časově. Zaručit tyto podmínky u běžného spínače je obtížné, proto je nutné provádět zkoušky na modelových zařízeních.

Jedny z nejrozsáhlejších zkoušek životnosti materiálů při velkých proudech provedl Wilson. Výsledky zkoušek zachycuje tabulka 1. Úbytky materiálu nejsou uvedeny hmotnostně na jedno sepnutí, ale objemově na jednotku množství proudu protékajícího obloukem, konkrétně na 1 kAs. K tomuto způsobu vyhodnocení úbytků vedly dvě okolnosti. V případě zkoušek materiálů podle tabulky se jedná o kovy, které se jen málo liší svou měrnou hmotností a elektrickou vodivostí. Proto váhově zjišťované úbytky hmoty přijatelně klasifikují jejich vzájemnou životnost. V případě kontaktů zkoušených Wilsonem se jednalo o materiály s velmi rozdílnou hustotou (C - 1,6; Al - 2,7; W - 18 g·cm⁻³) a velmi rozdílným měrným elektrickým odporem (C - 10⁻⁶; Ag - 0,016·10⁻⁶ Ω·m). Odpor uhlíkových kontaktů byl takový, že snížil amplitudu proudu z 25 kA při stříbře či mědi na 12 kA. Poměrné opotřebení vystihuje lépe jednotka cm³·kA⁻¹·s⁻¹ také proto, že se zkouší kontakty stejné rozměrově, ne však hmotnostně.

Svémi zkouškami prokázal Wilson také skutečnost, že úbytek materiálu kontaktů je při velkých proudech nejen důsledkem vypařování, ale také ve značné míře odstříku kapiček roztaveného kovu vlivem expandujících par. Srovnáme-li naměřený úbytek materiálu s vypočteným množstvím (Tabulka 1), které by se mělo danou energií proměnit na páry, vidíme, že až na dva nejodolnější materiály (uhlík a wolfram) je vždy naměřený úbytek větší. Větší úbytek způsobil právě odstřík, který byl největší u materiálu oblouku nejméně odolného, tj. hliníku, majícího poměrně velmi nízkou teplotu tavení [1].

Materiál	Naměřený úbytek [cm ³ ·kA ⁻¹ ·s ⁻¹]	Vypočtený úbytek vypařením [cm ³ ·kA ⁻¹ ·s ⁻¹]	Koeficient životnosti vzhledem k mědi
Uhlík	0,07	0,09	23
Wolfram	0,2	0,28	8
Molybden	0,7	0,35	2,3
Nikl	0,9	0,38	1,8
Ocel	1,1	0,42	1,5
Měď	1,6	0,60	1
Stříbro	1,65	0,65	1
Hliník	3,5	0,75	0,5

Tabulka 1. Úbytky materiálu kontaktů

2. 3. Vakuová zhášedla

2. 3. 1. Princip funkce zhášedla

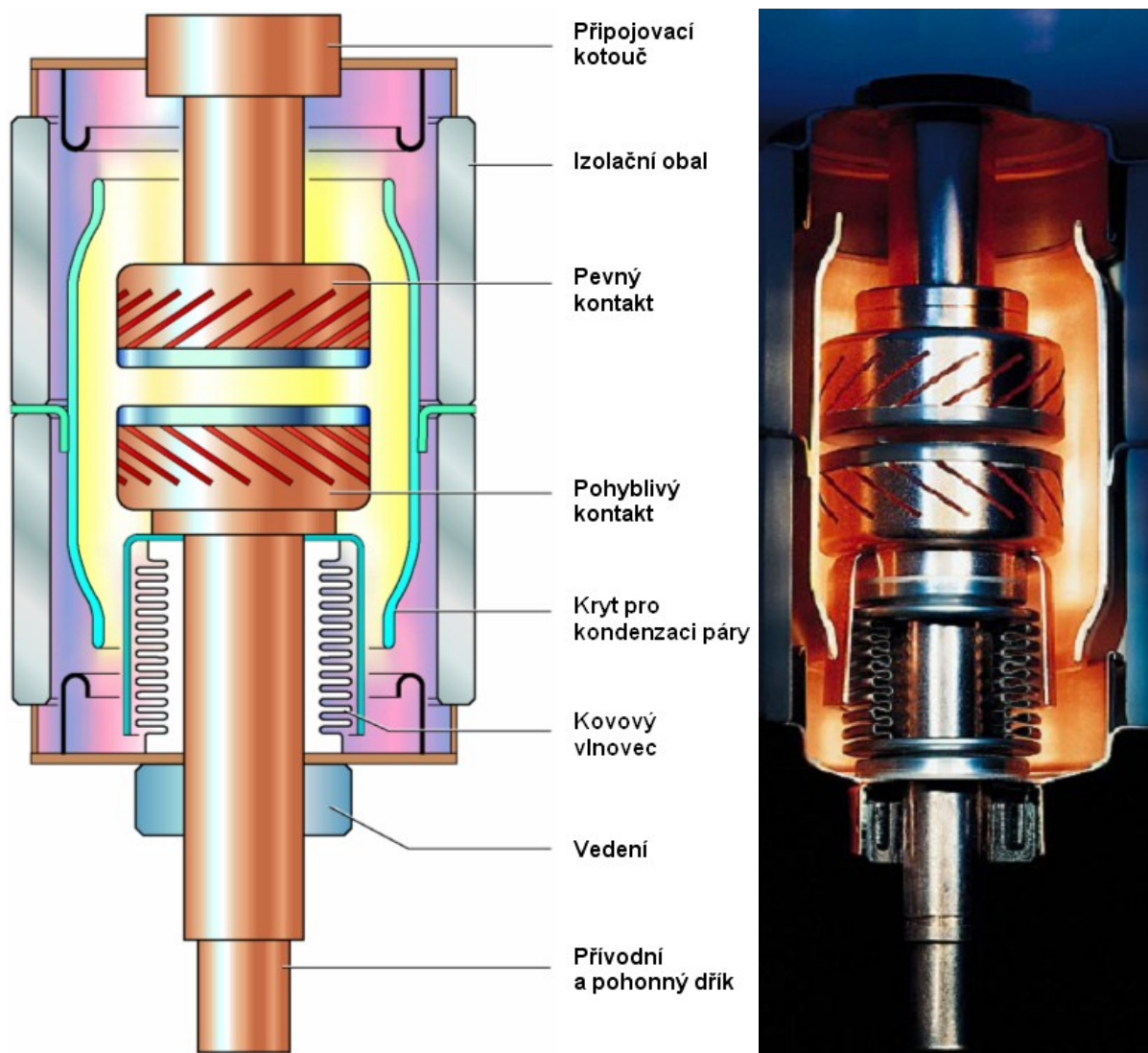
Zhášedlo se skládá ze dvou kontaktů, které jsou umístěny naproti sobě ve vakuové nádobě (obr. 6). Tlak okolního plynu uvnitř vakuového obalu je asi 10^{-3} Pa. Jeden z kontaktů je pevně připojen k víku. Druhý kontakt má možnost osového pohybu několika milimetrů při zachování dokonalé vakuové těsnosti prostřednictvím pružného členu. Tento člen se nazývá vlnovec. Za normálních podmínek obvodu je zhášedlo zapnuté a kontakty mají čelní styk. Oblouk vzniká uvnitř zhášedla vysunutím pohyblivé elektrody od pevné elektrody a je tvořen malým množstvím kovových par. Tyto páry postupně opouští oblast mezi kontakty a kondenzují na kontaktních plochách a na okolním stínícím krytu. Ten zabraňuje usazování par na vnitřní části vakuové nádoby. Při průchodu proudu nulou ustává vznik kovové páry a obnoví se původní vakuové podmínky zvyšováním dielektrické pevnosti, rozpojené vypínací vzdálenosti a obvod je vypnut. Při rozpojených kontaktech ve vypnuté poloze je napětí obvodu odpojeno vnitřní vypínací vzdáleností a vně izolačním obalem. Pohyb kontaktu se ovládá tlakovzdušnými, pneumatickými nebo magnetickými mechanismy.

Problém stavby vakuových vypínačů a stykačů je soustředěn v konstrukci jejich hlavní funkční části – vakuovém zhášedle. Jedná se zejména o konstrukci mechanicky pevné a vakuově těsné nádoby a ve volbě a technologickém zpracování kontaktních materiálů. Důležité vlastnosti některých materiálů jsou uvedeny v tabulce 2. [2]

Materiál	Proud katodové skvrny [A]	Kritický proud vzniku anodové skvrny [kA]	Střední velikost useknutí proudu [A]	Intenzita emise par kovu z elektrod [mg/C]
Olovo	5 – 15	2,5	1,9	1100
Stříbro	60 – 100	9,7	6	35
Hliník	30 – 50	6,8	2,8	
Měď	50 – 100	10,3	4	80
Železo	60 – 100			50
Uhlík	200			
Molybden	150	13,6	14	
Wolfram	250 – 300	13,8	9,2	

Tabulka 2. Vlastnosti materiálů

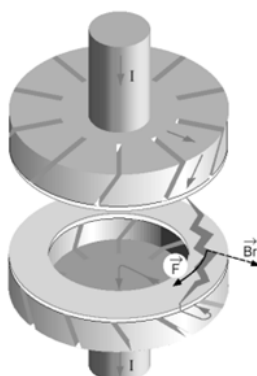
Jak vyplývá z tabulky 2, je difúzní charakter oblouku limitován proudem cca 10 kA. Při zvýšení proudu nad tuto hranici přechází difúzní oblouk do vysokotlakého oblouku, jehož zhášení je ve vakuu obtížnější. Proud ve své nule nezaniká, po komutaci proudu se anoda stává katodou, na které jsou vytvořeny podmínky pro další hoření oblouku. Zabránění vytvoření anodové skvrny, (resp. vytvoření vysokotlakého oblouku) je důležitá otázka při návrhu kontaktů a celého zhášecího systému vakuového spínacího přístroje. Z uvedených důvodů je použití prostých čelních kontaktů limitováno hranicí proudu do 10 kA. Kontakty tohoto typu jsou obvykle používány v přístrojích prostých. Ve výkonových spínacích přístrojích je praktickou možností zábrany vytvoření anodové skvrny působení vnějšího magnetického pole na oblouk. Pro vytvoření magnetického pole se vesměs využívá zvláštní konstrukce kontaktů a podle směru působení na oblouk může být magnetické pole buď radiální, nebo axiální. [2]



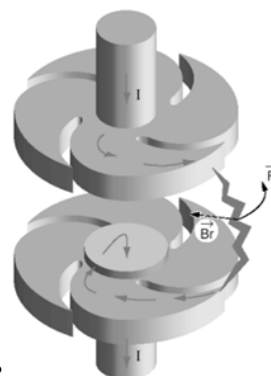
Obr. 6. Příklad konstrukce vakuových zhášedel



Obr. 7.1



Obr. 7.2



Obr. 7.3

Obr. 7.1 princip působení axiálního pole na oblouk mezi kontakty
 Obr. 7.2,3 princip působení radiálního pole na oblouk mezi kontakty

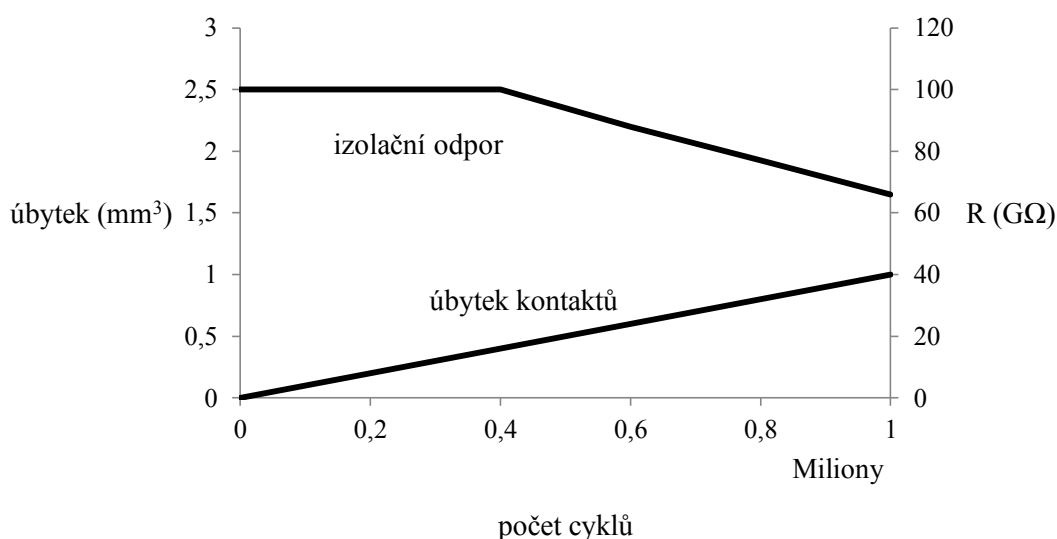
2. 3. 2. Další části zhášedel

Izolační část může být buď skleněná, nebo keramická. Korundová keramika, která se obvykle používá, je sice dražší než sklo, ale má vyšší pevnost, lépe se dodržují tolerance a je odolnější vůči mechanickým i teplotním nárazům. Víka jsou kovová. Spojování s kovem se provádí pájením měkkými pájkami pod vakuem při teplotě 800°C.

Vlnovec umožňuje pohyb kontaktu a zároveň těsní vnitřní prostor zhášedla proti okolnímu prostředí. Většinou se vyrábí z titanové oceli, tloušťky 0,1 až 0,2 mm a určuje mechanickou životnost zhášedla. Ta se pohybuje okolo 10 000 pracovních cyklů (elektrická životnost je mnohonásobně větší).

Průrazné napětí je silně závislé na mikroskopickém stavu kontaktů. Stav povrchu je příčinou velkého rozptylu hodnot průrazného napětí. Dá se zvětšit formováním zhášedel. To vlastně představuje rovnání povrchových nerovností nebo odstraňování nečistot z povrchu kontaktů elektrickými průrazy. Průrazné napětí vakuových zhášedel vzrůstá s velikostí zdvihu kontaktů. Toto zvětšování průrazného napětí je největší v oblasti nízkých zdvihů. Naproti tomu mechanická životnost zhášedel, limitovaná vakuovou těsností vlnovce, se s vyšším zdvihem kontaktů patrně zhoršuje. Provozní zdvih je tedy kompromisem mezi těmito dvěma závislostmi a také na velikosti jmenovitého napětí a na druhu přístroje. Tak např. u stykačů do 7,2 kV je zdvih asi 2-4 mm, u vypínačů na 12 kV bývá 8-12 mm. Při vypínání proudů dochází k vypařování kontaktního materiálu, a tím i k zmenšování objemu kontaktů. Snížením výšky kontaktů se zvětšuje vypínací vzdálenost, ale tím také namáhání vlnovce. Změna elektrických vlastností zhášedla během jeho životnosti při vypínání provozních proudů je na obr. 8.

Zapínací rychlost se pohybuje v mezích 0,6 - 2 m·s⁻¹, vypínací rychlost se volí tak, aby během jedné půlvlny proudu dosáhly kontakty 50-80% z celkového zdvihu. Zvláštní pozornost v konstrukci vakuového zhášedla se věnuje tepelným poměrům při průchodu jmenovitého proudu. Protože vakuum je dobrým tepelným izolantem, probíhá chlazení proudovodných částí pouze v axiálním směru vedením tepla prostřednictvím přívodů. Je tedy nutné navrhnuv přívody kontaktů tak, aby byly zajištěny žádoucí tepelné poměry uvnitř zhášecí komory. [2]

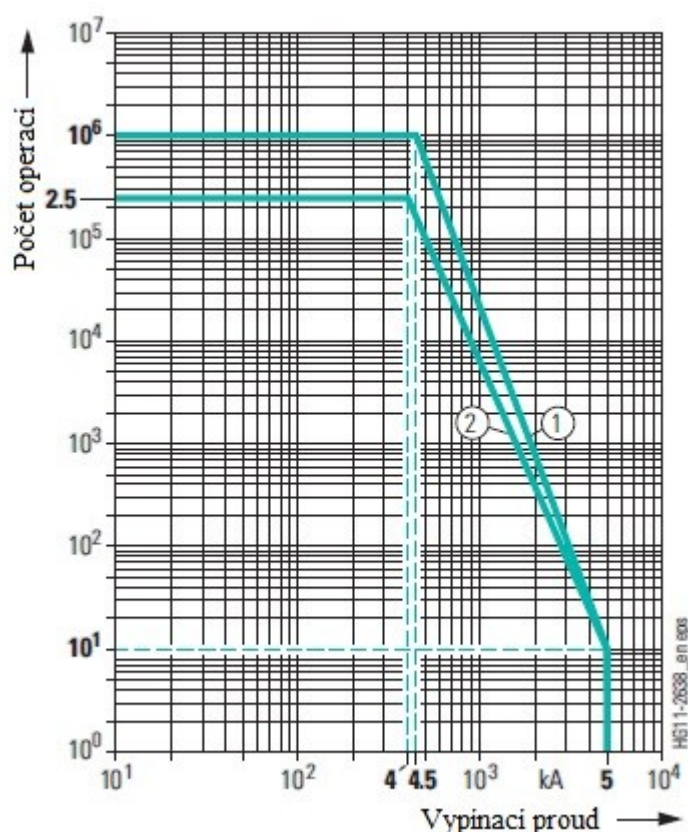


Obr. 8. Elektrické vlastnosti vakuového zhášedla

3. Rozdíly v činnosti vypínače a stykače.

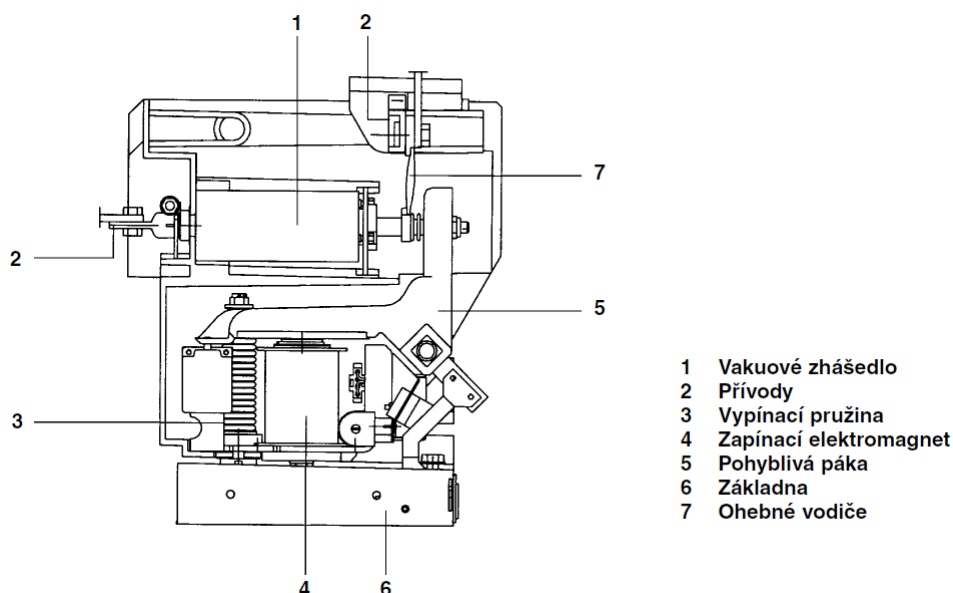
3.1. Obecný vakuový stykač

Stykač je dálkově ovládaný přístroj, jehož funkcí je časté spínání a vypínání provozních proudů motorů a dalších elektrických spotřebičů. Tyto proudy leží v oblasti jmenovitých proudů a v oblasti provozních nadproudů, tzn. zapínací proudy v rozmezí 6 až 12-ti násobku jmenovitého proudu a vypínací proudy v rozmezí 6 až 10-ti násobku jmenovitého proudu stykače ve střídavých obvodech, ve stejnosměrných obvodech pak se zapínací i vypínací proudy pohybují v rozmezí 2 až 5-ti násobku jmenovitého proudu stykače. Počet spínacích cyklů za hodinu může dosáhnout až několika set. Z následujícího důvodu jsou na konstrukci stykače kladeny vysoké nároky z hlediska elektrické trvanlivosti. Dosahuje nezdědka i několika statisiců spínacích cyklů. Stykače nejsou konstruovány pro zapínání a vypínání zkratových proudů. Zkrat v obvodu musí vypnout předřazená ochrana (jistič, pojistka). [2]

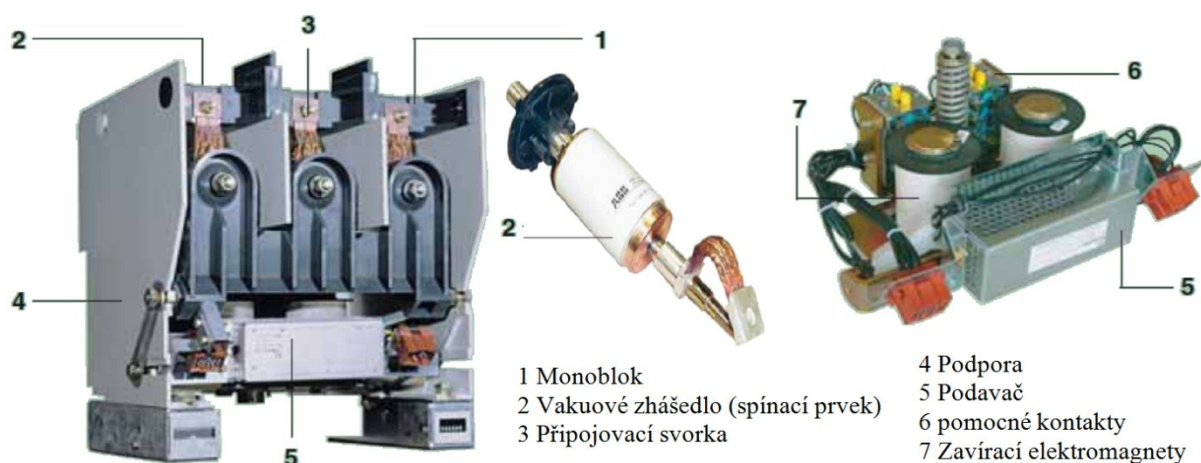


Obr. 9. Typické vypínací křivky vakuového stykače

Stykač má pouze jednu stabilní polohu a to zpravidla vypnuto. Do druhé polohy se dostane pouze působením strojního mechanismu a v této poloze setrvává, pouze pokud tento mechanismus působí. Tento mechanismus může být vačkový, pneumatický či elektromagnetický. Nejrozšířenější je provedení stykače s pohonem elektromagnetickým. Principiálně není správné, i když se tomu nelze vždy vyhnout, používat stykače v obvodech, kde budou spínat velmi řídké. Také užití stykačů tam, kde budou sepnuty po dlouhou dobu, není vhodné a to kvůli spotřebě ovládací cívky. Ovládací cívky mohou být jak stejnosměrné, tak střídavé. Podle zhasacího media můžeme stykače rozdělit na vakuové, olejové a vzduchové. [2]



Obr. 10. Provedení mechanismu vakuového stykače vn



Obr. 11. Ukázky provedení stykačů vn

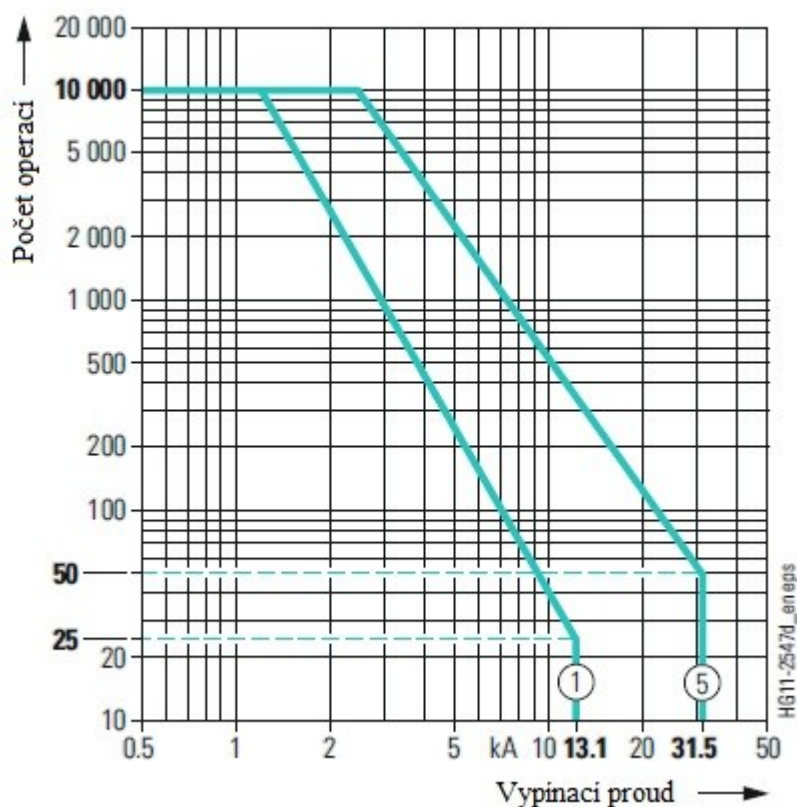
3. 1. 1. Princip vypínání vakuového stykače

Hlavní kontakty stykače působí uvnitř keramických zhášedel, kde je velmi vysoká hodnota vakua ($1,3 \times 10^{-6}$ Pa). [7]

Při vypínání se rychle rozpojí pevné a pohyblivé kontakty ve všech zhášedlech stykače. Přehřátí kontaktu vznikající při jejich rozpojení, způsobuje vznik kovových par, které umožňují udržení elektrického oblouku až do prvního průchodu nulou proudu. Ochlazení kovových par umožňuje obnovení vysoké dielektrické pevnosti mezi kontakty při průchodu proudu nulou, takže rozpojená dráha má schopnost snést vysoké hodnoty zotaveného napětí. V provedení pro spínání motoru je hodnota utrženého proudu oblouku menší než 0,5A. To omezuje přepětí na velmi malé hodnoty. [4]

3. 2. Obecný vakuový vypínač

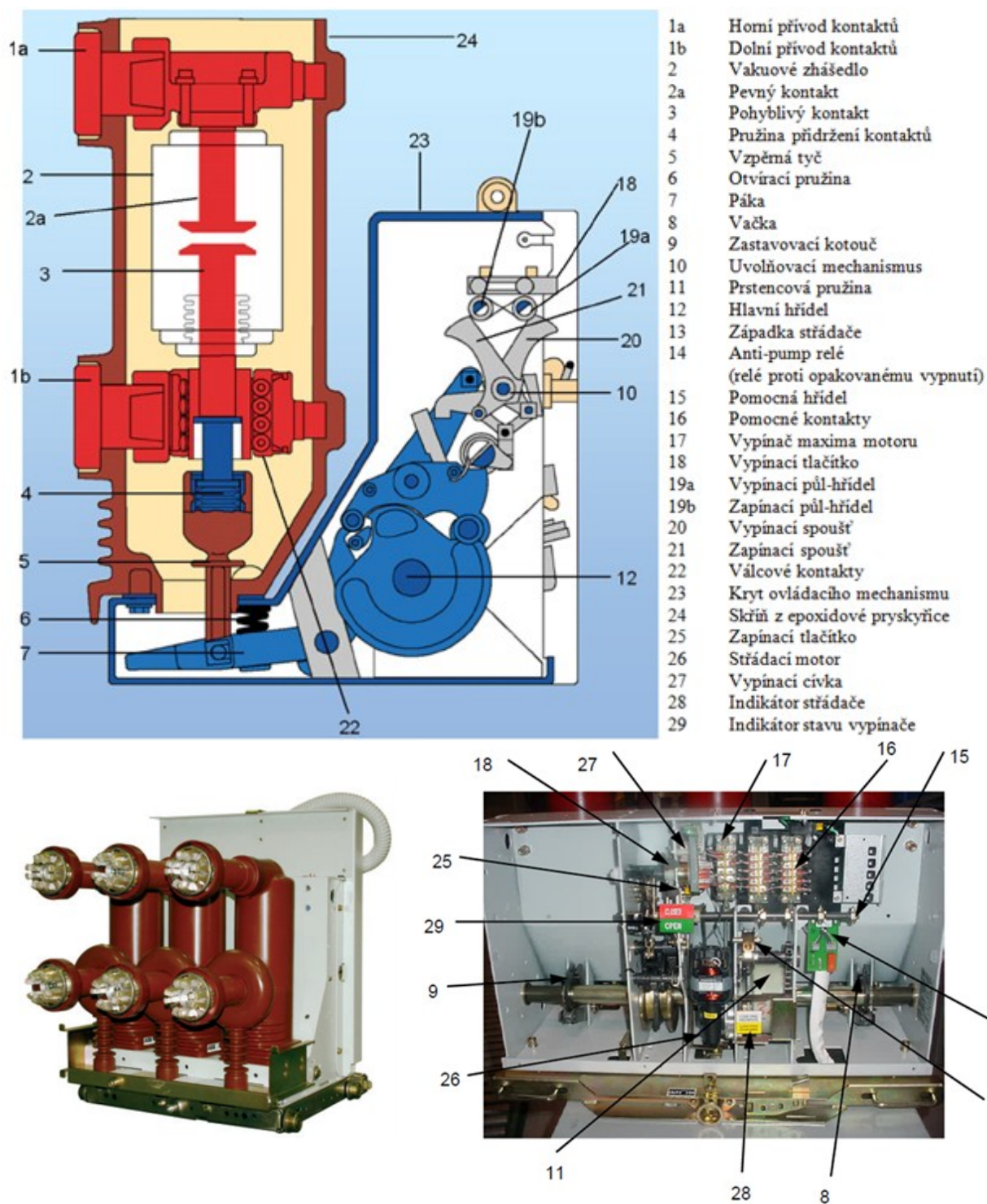
Vakuové vypínače se stávají bezmála půl století. Jejich rozšíření nebylo z počátku však velké, neboť technologické obtíže nedovolovaly stavby vypínačů na velké proudy. Mimo problémů s vakuem narážel jejich rozvoj na potíže s kontaktními materiály. V té době nebylo možné získat čisté odplyněné kontaktní materiály, nebylo možné realizovat vakuovou těsnost spojováním kovů a izolantů. K rozvoji vakuového vypínače došlo až začátkem 60 let v důsledku pokroku vakuové techniky. Tehdy započala výroba vakuových vypínačů pro napětí do 15kV a jmenovité proudy do 600A a vypínací proudy do 15kA. V současnosti je rozvoji vakuových vypínačů na celém světě věnována značná pozornost. Tyto vypínače úspěšně konkurují klasickým typům vypínačů a v mnohých parametrech je i předčí. Vakuové vypínače spolu s vypínači SF6 patří k současným moderním vypínačům. [2]



Obr. 12. Typické vypínací křivky vakuového vypínače

Pracují tak, že k oddálení kontaktů při vypínání dochází ve vakuu, které obsahuje jen minimální množství vodivých částic. Tlak od 10^{-3} Pa a nižší nazýváme ve vakuové technice vysokým vakuem. Kontakty vakuových vypínačů jsou ve vakuu 10^{-4} až 10^{-6} Pa. Vakuum se chová jako izolant. Vypínání ve vakuu se podstatně liší od vypínání ve vzduchu, v jiných plynech či v oleji, protože kontakty se nacházejí v nevodivém prostředí, které se prakticky neionizuje.

Při vypínání se oddálí pohyblivý kontakt od pevného o několik milimetrů až centimetrů. Oblouk mezi kontakty vznikne odpařením kovu stykových ploch kontaktu. Působením tepla oblouku mají kovové páry velmi vysoký tlak a při nejbližším průchodu proudy nulou velmi lehce expandují do okolního prostoru. Kovové páry kondenzují na povrchu kontaktu a na zvláštním stínícím štítu, který obklopuje kontaktní prostor. [2]



Obr. 13. Provedení vakuového vypínače vn a jeho mechanismus

4. Srovnání parametrů vakuových stykačů a vypínačů vn, předních výrobců v EU

4.1. Vakuové stykače

4.1.1 Vakuový stykač V-Contact (ABB)

- *magnetický mechanismus, vyhovuje standardům ISO*

Stykače řady V-Contact se používají pro ovládání elektrických přístrojů v průmyslu, v sektoru služeb, na moři atd. Při vybavení vhodnými pojistkami se mohou použít pro zkratový výkon sítě do 1000 MVA. Díky vypínací technologii vakuových zhášedel mohou být stykače provozovány ve zvláště náročném prostředí. Jsou vhodné pro ovládání a v kombinaci s pojistkami, pro jištění motorů, transformátorů, kondenzátorů, spínacích systémů atd. Jsou určeny pro uživatele, vyžadující v provozu velký počet spínacích cyklů.

Stykače jsou složeny z monobloku odlitého z epoxidové pryskyřice. V tomto bloku jsou namontována vakuová zhášedla, pohybový mechanismus, ovládací magnet, víceúrovňový zdroj pro napájení a pomocné příslušenství. Monoblok slouží rovněž jako držák pro sestavu pojistkového spodku. Konstrukce je kompaktní, pevná a zajišťuje velmi vysokou elektrickou a mechanickou životnost bez požadavku na údržbu. Příslušenství, které je k dispozici, umožňuje snadné přizpůsobení stykače individuálním potřebám. Stykače typu V-Contact jsou záměnné se stykači předchozí výrobní řady a zaručují stejné provozní vlastnosti. [6]



Obr. 14. Stykače typu V-Contact v různém provedení

Technické parametry	V7	V12
Jmenovité napětí (kV)	7,2	12
Jmenovitý kmitočet (Hz)	50-60	50-60
Jmenovitý pracovní proud kategorie AC4 (A)	400	400
Jmenovitá vypínací schopnost (kA)	4	4
Jmenovitá zapínací schopnost (kA)	4	4
Elektrická trvanlivost (počet cyklů vyp./zap.)	1x10 ⁶	1x10 ⁶
Mechanická trvanlivost (počet cyklů vyp./zap.)	1x10 ⁶	1x10 ⁶

Tabulka 3. Technické údaje

4. 1. 2 Vakuový stykač VSC (ABB)

- *magnetický mechanismus, primární distribuce, úzké provedení, vyhovuje standardům ISO*

Stykače vysokého napětí VSC jsou přístroje vhodné pro ovládání střídavého proudu a jsou obvykle používány uživateli požadujícími velký počet spínacích cyklů za hodinu. Stykač VSC představuje pohon s permanentními magnety, již používanými, ověřenými ve VN vypínačích.

VSC stykače jsou vhodné pro ovládání elektrických přístrojů v průmyslu, sektoru služeb, sektoru námořním, atd. Díky vypínací technologii vakuových zhášedel, mohou být stykače provozovány ve zvláště náročném prostředí. Jsou vhodné pro ovládání a jištění motorů, transformátorů, spínacích systémů atd. Při vybavení vhodnými pojistkami se mohou použít v obvodech s úrovněmi poruch až do 1000 MVA. [6]



Obr. 15. Stykače typu VSC v různém provedení

Technické parametry	VSC3	VSC7	VSC12
Jmenovité napětí (kV)	3,3	7,2	12
Jmenovitý kmitočet (Hz)	50-60	50-60	50-60
Jmenovitý pracovní proud kategorie AC4 (A)	320	400	400
Jmenovitá vypínací schopnost (kA)	4	6	4
Jmenovitá zapínací schopnost (kA)	10	15	8
Elektrická trvanlivost (počet cyklů vyp./zap.)	1×10^6	1×10^6	1×10^6
Mechanická trvanlivost (počet cyklů vyp./zap.)	1×10^6	1×10^6	1×10^6

Tabulka 4. Technické údaje

4. 1. 2 Vakuový stykač 3TL (Siemens)

- *magnetický mechanismus, vyhovuje standardu IEC, 7,2-24kV*

3TL6 vakuové stykače jsou třífázové stykače s elektromagnetickými ovládacím mechanismem pro vysokonapěťové rozvaděče, pro aplikace s vysokou spínací rychlostí až do výše 3 milionů pracovních cyklů.

Konstrukce vakuového stykače se skládá z vysokonapěťové a nízkonapěťové části. Spolu s hlavním vodivými částmi, vakuová zhášedla tvoří vysokonapěťovou část. Všechny součásti nezbytné pro provoz vakuového zhášedla, jako je ovládací mechanismus, zavírání západky a jeho řídicí jednotky tvoří nízkonapěťovou část. Tyto komponenty mohou být uspořádány buď za sebou (3TL6), nebo nad sebou (3TL7 a 3TL8). [4]

Vakuové stykače jsou vhodné pro provozní spínání střídavého proudu spotřebitelů v krytých rozvodnách, a může být použit např. pro následující spínací činnosti:

- rozběh motoru
- připojení nebo změna směru motoru
- spínání transformátorů
- spínání reaktorů
- spínání odporových spotřebičů, jako jsou elektrické pece
- spínání kondenzátorů. [4]



Obr. 16. Stykače typu 3TL6x, 3TL8, 3TL7 (zleva)

Technické parametry	3TL61	3TL65	3TL7	3TL8
Jmenovité napětí (kV)	7,2	12	24	7,2
Jmenovitý kmitočet (Hz)	50-60	50-60	50-60	50-60
Jmenovitý pracovní proud kategorie AC4 (A)	450	400	800	400
Jmenovitá vypínací schopnost (kA)	3,6	3,2	3,6	3,2
Jmenovitá zapínací schopnost (kA)	4,5	4	4,5	4
Počet elektrických provozních cyklů	1×10^6	$0,5 \times 10^6$	$0,5 \times 10^6$	$0,25 \times 10^6$
Počet mechanických provozních cyklů	3×10^6	1×10^6	1×10^6	1×10^6

Tabulka 5. Technické údaje

4. 1. 3. Srovnání publikovaných vakuových stykačů

- Žádný z těchto stykačů nedokáže vypínat zkratové proudy, proto oba výrobci k daným typům stykačů nabízí adekvátní pojistky.
- Všechny typy stykačů lze částečně upravit dle přání zákazníka např. zvýšením jmenovitého proudu, či přidáním dalších ochranných prvků.

Z důvodu konkurenčního boje, závislosti na počtu odebraných kusů a dalších detailech kupní smlouvy výrobci neuvádějí konkrétní ceny pro daný stykač s nejlepším poměrem cena/výkon.

Z hlediska velikosti napětí je lepší volbou Siemens, který nabízí vakuové stykače až do napětí 24 kV oproti ABB, které nabízí stykače pouze do hladiny napětí 12 kV, i když pro větší počet hladin. Stykače Siemens mají také vyšší jmenovité proudy. Z hlediska počtu provozních cyklů je na tom lépe ABB, které má dvojnásobnou elektrickou životnost, mechanická životnost není tak zásadní, protože nepředpokládáme (kromě údržby) spínání bez proudu. Mechanická životnost stykačů Siemens je vyšší nebo shodná s ABB.

Pro aplikace s častějším spínáním je tedy vhodnější stykač ABB (Vx, VSCxx), pro aplikace s větším přenášeným výkonem je vhodnější stykač Siemens (3TLxx)

Typ stykače	Jmenovité napětí (kV)	Jmenovitý kmitočet (Hz)	Jmenovitý pracovní proud kategorie AC4 (A)	Jmenovitá vypínací schopnost (kA)	Jmenovitá zapínací schopnost (kA)	Počet elektrických provozních cyklů	Počet mechanických provozních cyklů
V7	7,2	50-60	400	4	4	1×10^6	1×10^6
V12	12	50-60	400	4	4	1×10^6	1×10^6
VSC3	3,3	50-60	320	4	10	1×10^6	1×10^6
VSC7	7,2	50-60	400	6	15	1×10^6	1×10^6
VSC12	12	50-60	400	4	8	1×10^6	1×10^6
3TL61	7,2	50-60	450	3,6	4,5	1×10^6	3×10^6
3TL65	12	50-60	400	3,2	4	$0,5 \times 10^6$	1×10^6
3TL7	24	50-60	800	3,6	4,5	$0,5 \times 10^6$	1×10^6
3TL8	7,2	50-60	400	3,2	4	$0,25 \times 10^6$	1×10^6

Tabulka 6. Srovnání vakuových stykačů

4. 2. Vakuové vypínače

4. 2. 1. Vakuový vypínač ADVAC (ABB)

- pružinový mechanismus, primární distribuce, vyhovuje standardu ANSI, 5 - 15 kV

Série vakuových vypínačů ADVAC nabízí zákazníkům v distribuci elektrické energie výhody nejnovějších technologií. Tyto technologie snižují náklady na provoz i údržbu a zvyšují spolehlivost. Jsou k dispozici ve stacionárním nebo výsuvném provedení. [7]



Obr. 17. Vypínače typu ADVAC

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napěťový impuls (kV)	Zkratový proud (kA)	Dynamický zkratový proud (kA)	$I_N=1200\text{ A}$	$I_N=2000\text{ A}$	$I_N=3000\text{ A}$	*Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	*Počet provozních cyklů (zkratový proud)
5ADV	4.16	19	60	31.5	82	ano	ano	ano	10 000	-
				40	104	ano	ano	ano	10 000	-
				50	130	ano	ano	ano	5000	-
7.5ADV	7.2	36	95	40	104	ano	ano	ano	10 000	-
15ADV	13.8	36	95	20	52	ano	ano	ano	10 000	-
				25	65	ano	ano	ano	10 000	-
				31.5	82	ano	ano	ano	10 000	-
				40	104	ano	ano	ano	5000	-
				50	130	ano	ano	ano	5000	-

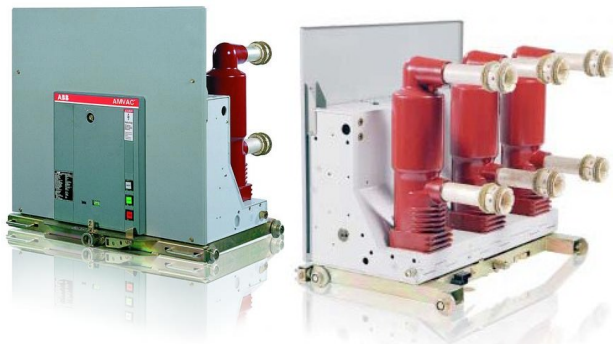
*Výrobce data neuvádí nebo nejsou aktuální.

Tabulka 7. Technické údaje

4. 2. 2. Vakuový vypínač AMVAC (ABB)

- magnetický mechanismus, vyhovuje standardu ANSI, 5 - 27 kV

Vypínač AMVAC kombinuje bezúdržbové, epoxidem zapouzdřená vakuová zhášedla s bezúdržbovým magnetickým mechanismem pohonu a bezúdržbovým elektrickým ovládáním. Elektrické ovládání nejen že, udržuje nabitě kondenzátory s dlouhou životností použité pro spínání, ale také ovládá anti-pum relé (relé proti opětovnému vypnutí). [7]



Obr. 18. Vypínač typu AMVAC

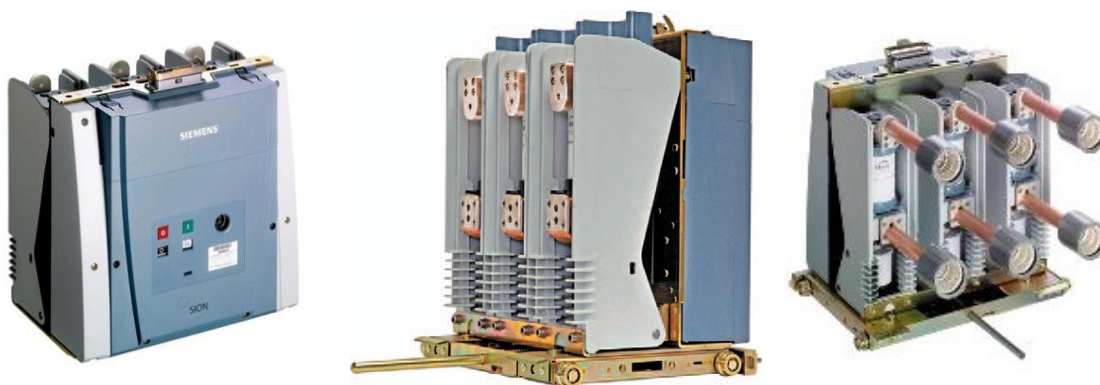
Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napěťový impuls (kV)	Zkratový proud (kA)	Dynamický zkratový proud (kA)	$I_N=1200$ A	$I_N=2000$ A	$I_N=3000$ A	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
5AMV	4,16	19	60	25	65	ano	ano	ano	30 000	100
				31,5	82	ano	ano	ano	30 000	100
				40	104	ano	ano	ano	30 000	100
				50	130	ano	ano	ano	30 000	100
7.5AMV	7,2	36	95	40	104	ano	ano	ano	30 000	100
15AMV	13,8	36	95	20	52	ano	ano	ano	30 000	100
				25	65	ano	ano	ano	30 000	100
				31,5	82	ano	ano	ano	30 000	100
				40	104	ano	ano	ano	30 000	100
				50	130	ano	ano	ano	30 000	100

Tabulka 8. Technické údaje

4. 2. 3. Vakuový vypínač SION (Siemens)

- pružinový mechanismus, vyhovuje standardu IEC, 7,2 – 24 kV

Nejnovější generace vakuových vypínačů společnosti Siemens byla úspěšně představena v roce 2006. Od té doby se řada vakuových vypínačů SION rozrostla do globální platformy pro všechny typy aplikací vysokého napětí. Tento typ je určen pro všechny typy spínání v oblasti distribuce vysokého napětí a je vhodný pro jakýkoli typ instalace. Jsou použitelné pro provoz, jako jsou např. venkovní vedení, kabely, transformátory, generátory, kondenzátory, filtrační okruhy, motory a reaktory. Komplexní montážní příslušenství umožňuje snadnou integraci v panelu a formě, s maximálním vybavením jako je např. modul uzemňovače. [5]



Obr. 19. Vypínač typu SION v různém provedení

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napěťový impulz (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=800$ A	$I_N=1250$ A	$I_N=2000$ A	$I_N=2500$ A	$I_N=3150$ A	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
3AE10	7,2	20	60	16	40	ano	ano	-	-	-	10 000	180
				20	50	ano	ano	-	-	-	10 000	130
				25	63	ano	ano	ano	-	-	10 000	80
				31,5	80	ano	ano	ano	ano	-	10 000	50
				40	100	-	ano	ano	ano	ano	10 000	50
3AE11	12	28	75	16	40	ano	ano	-	-	-	10 000	180
				20	50	ano	ano	-	-	-	10 000	130
				25	63	ano	ano	ano	ano	-	10 000	80
				31,5	80	ano	ano	ano	ano	-	10 000	50
				40	100	-	ano	ano	ano	ano	10 000	50
3AE12	17,5	38	95	12,5	31	ano	ano	-	-	-	10 000	350
				16	40	ano	ano	-	-	-	10 000	180
				25	63	ano	ano	ano	ano	-	10 000	80
				31,5	80	ano	ano	ano	ano	-	10 000	50
				40	100	-	ano	ano	ano	ano	10 000	50

Tabulka 9. Technické údaje

4. 2. 4. Vakuový vypínač 3AH5 (Siemens)

- pružinový mechanismus, vyhovuje standardu IEC, 12 – 36 kV

Vakuový vypínač 3AH5 je určen pro všechny typy spínání v oblasti distribuce vysokého napětí. Jsou použitelné pro provoz, jako jsou např. venkovní vedení, kabely, transformátory, generátory, kondenzátory, filtrační okruhy, motory a reaktory. Vypínač 3AH5 je opravdu všestranné zařízení s kompaktními rozměry. To se hodí do všech typů rozvaděčů. Komplexní výběr proudu až do 2500A a zkratového proudu až do 31,5 stejně tak dobře hladiny od 12 do 36 kV. [5]



Obr. 20. Vypínač typu 3AH5

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napětový impulz (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=800 \text{ A}$	$I_N=1250 \text{ A}$	$I_N=2000 \text{ A}$	$I_N=2500 \text{ A}$	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
3AH5	12	28	75	13,1	33	ano	-	-	-	10 000	25
				16	40	ano	ano	-	-	10 000	80
				20	50	ano	ano	ano	-	10 000	50
				25	63	ano	ano	ano	ano	10 000	30
				31,5	80	-	ano	ano	ano	10 000	50
3AH5	17,5	38	95	25	63	ano	ano	-	ano	10 000	80
				31,5	80	-	ano	ano	ano	10 000	50

Tabulka 10. Technické údaje

4. 2. 5. Vakuový vypínač 3AH4 (Siemens)

- pružinový mechanismus, vyhovuje standardu IEC, 12-36kV

V některých aplikacích zejména v průmyslu je nutnost vysokých až velmi vysokých operačních cyklů. Například, provoz obloukové pece vyžaduje více než 100 pracovních cyklů za den. Vakuový vypínač typu 3AH4 až do 36 kV je navržen pro extrémní počet operačních cyklů: To umožňuje 60,000 až 120,000 operačních cyklů. Minimální údržba jako je mazání provozních mechanismů po 10.000 spínacích cyklech a výměna vakuového zhášedla po 30 000 spínacích cyklech umožňují vysokou spolehlivost těchto vypínačů – i přes vysoké mechanické namáhání. [5]



Obr. 21. Vypínač typu 3AH4

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napěťový impulz (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=1250 \text{ A}$	$I_N=2000 \text{ A}$	$I_N=2500 \text{ A}$	$I_N=3150 \text{ A}$	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
3AH4	12	28	75	31,5	80	ano	ano	-	-	30 000	50
				40	100	ano	ano	ano	ano	30 000	50
3AH4	15	36	95	31,5	80	ano	-	ano	ano	30 000	50
				40	100	ano	-	ano	ano	30 000	50

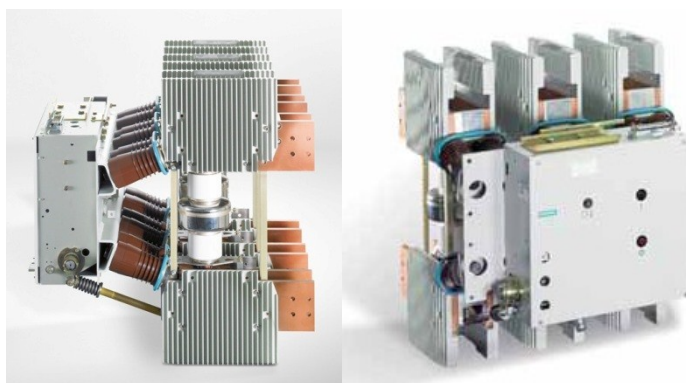
Tabulka 11. Technické údaje

4. 2. 6. Vakuový vypínač 3AH37/8 (Siemens)

- pružinový mechanismus, vyhovuje standardu IEC, 17,5 – 24 kV

Vypínače 3AH37 a 3AH38 pracují spolehlivě s vypínacím zkratovým proudem až do 72 kA v mnoha elektrárnách po celém světě, 3AH3x silnoproudý a generátorový vypínač se stal standardem pro spínání jmenovitých proudů až do velikosti 6 300 A. Je to první vypínač s vakuovým zhášedlem na světě, který byl testován v souladu s kritérii pro generátorové vypínače (IEEE Std C37.013). Siemens nabízí první mezinárodně dostupné vakuové vypínače pro generátory vyšších výkonů (6 300 A 24 kV), to umožňuje zvládnout zkratové proudy až do 72 kA. S nuceným vzduchovým chlazením dokáže tento vypínač snést jmenovitý proud až 8 000 A.

Výhody: vysoká mechanická stabilita díky sloupové konstrukci, kompaktní rozměry přes vertikální uspořádání vakuového zhášedla, není třeba nucené chlazení, sekundární zařízení lze snadno dovybavit, bezúdržbový po celou dobu jeho životnosti, vhodné pro horizontální a vertikální montáž. [5]



Obr. 22. Vypínač typu 3AH37/8

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napětový impulz (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=3150$ A	$I_N=4000$ A	$I_N=5000$ A	$I_N=6300$ A	*Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	*Počet provozních cyklů (zkratový proud)
3AH37/8	17,5	50	110	50	137	ano	ano	ano	ano	-	-
				63	173	ano	ano	ano	ano	-	-
				72	198	ano	ano	ano	ano	-	-

*Výrobce uvádí pouze počet mechanických provozních cyklů (10 000)

Tabulka 12. Technické údaje

4. 2. 7. Vakuový vypínač VD4 (ABB)

- pružinový mechanismus, vyhovuje standardu IEC, 12 - 36 kV

Vypínače typu VD4 jsou určeny pro vnitřní montáž do kobek a rozvaděčů se vzduchovou izolací. Jejich spínací schopnost je dostatečná pro zvládnutí všech podmínek, vznikajících při spínání provozních prostředků a částí zařízení v běžném bezporuchovém provozu a za poruchových stavů, zvláště zkratů, v rámci jejich technických údajů. Vypínače této řady jsou zvláště vhodné pro použití v sítích, kde je vysoká četnost spínání v oblastech provozních proudů, nebo kde se musí počítat s vypnutím určitého počtu zkratových proudů nebo obojí. Vakuové vypínače řady VD4 jsou vhodné pro opětovné zapínání a mají vysokou provozní spolehlivost a dlouhou životnost. Vakuové vypínače jsou sloupové konstrukce. Mohou být dodány jako samostatné přístroje pro pevnou montáž nebo montované na podvozku.

Vypínače jsou vhodné pro spínání: zkratových proudů, zatížených i nezatížených venkovních vedení a kabelů, transformátorů, generátorů, HDO, kondenzátorů, motorů s rozběhovým proudem přes 600 A. [7]



Obr. 23. Vypínač typu VD4

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napětový impuls (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=630 \text{ A}$	$I_N=1250 \text{ A}$	$I_N=1600 \text{ A}$	$I_N=2000 \text{ A}$	$I_N=2500 \text{ A}$	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
VD412	12	28	75	16	40	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	20
				31,5	80	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	50
				40	100	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	50
				50	125	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	50
				63	158	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	50
VD417	17,5	38	95	16	40	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	20
				31,5	80	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	50
				40	100	ano	ano	ano	ano	ano	30 000	50

Tabulka 13. Technické údaje

4. 2. 8. Vakuový vypínač VMAX (ABB)

- pružinový mechanismus, dle standardu IEC/ANSI, 12 - 17.5 kV

Vypínač VMAX je sestaven z izolačního monobloku ve kterém jsou umístěna tři vakuová zhášedla. Monoblok a pohon jsou připevněny ke konstrukci. Uspořádání je velmi kompaktní a zajišťuje stabilitu a funkční spolehlivost. Vypínač VMAX se používá v distribuci jako kontrola a ochrana kabelů, napětového vedení, transformátorových a distribučních rozvodů, motorů, transformátorů a kondenzátorových baterií. [7]



Obr. 24. Vypínač typu VMAX

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napětový impulz (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=630 \text{ A}$	$I_N=1250 \text{ A}$	$I_N=2000 \text{ A}$	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
VMAX	12	28	75	16	40	ano	ano	ano	30 000	20
				20	50	ano	ano	ano	30 000	20
				25	63	ano	ano	ano	30 000	50
				31,5	80	ano	ano	ano	30 000	50
VMAX	17,5	38	95	16	40	ano	ano	ano	30 000	20
				20	50	ano	ano	ano	30 000	50
				25	63	ano	ano	ano	30 000	50
				31,5	80	ano	ano	ano	30 000	50

Tabulka 14. Technické údaje

4. 2. 8. Vakuový vypínač VM1 (ABB)

- magnetický mechanismus, 12 - 24 kV, dle standardu IEC

Vypínače typu VM1 nacházejí široké uplatnění jako univerzální vypínače pro celou řadu aplikací od výroby energie v elektrárnách, přes řízený rozvod v transformačních stanicích až ke konečnému spotřebiteli, jako např. dodávky energie pro automobilový a chemický průmysl, ocelárny, letiště nebo bytové komplexy. [7]

Přednosti vakuového vypínače VM1:
 vysoká spolehlivost
 možnost nasazení ve všech místech sítě
 vysoká životnost
 minimální nároky na obsluhu, údržbu, revize
 snadná manipulace [7]



Obr. 25. Vypínač typu VM1

Typ vypínače	Jmenovité napětí (kV)	Nízkofrekvenční výdržné napětí (kV)	Napětový impulz (kV)	Zkratový proud (kA)	Vypínací proud dynamický (kA)	$I_N=630 \text{ A}$	$I_N=1250 \text{ A}$	$I_N=2000 \text{ A}$	Počet provozních cyklů (jmenovitý proud)	Počet provozních cyklů (zkratový proud)
VM1	12	28	75	16	40	ano	ano	ano	30 000	100
				20	50	ano	ano	ano	30 000	70
				25	63	ano	ano	ano	30 000	30
				31,5	80	ano	ano	ano	30 000	30
VM1	17,5	38	95	16	40	ano	ano	ano	30 000	100
				20	50	ano	ano	ano	30 000	50
				25	63	ano	ano	ano	30 000	30

Tabulka 15. Technické údaje

4. 2. 9. Srovnání publikovaných vakuových vypínačů

- Všechny typy vypínačů lze částečně upravit dle přání zákazníka např. zvýšením jmenovitého proudu, či přidáním dalších ochran.
- Všechny typy vypínačů jsou k dispozici v pevném nebo výsuvném provedení.

Z důvodu konkurenčního boje, závislosti na počtu odebraných kusů a dalších detailech kupní smlouvy výrobci neuvádějí konkrétní ceny pro daný vypínač, proto jsou srovnávány pouze technické parametry a nelze určit vypínač s nejlepším poměrem cena/výkon.

ABB i Siemens konstruuje vypínače dle platných evropských norem, ABB nabízí navíc vypínače dle amerických norem (ADVAC, AMVAC). Oba výrobci nabízejí vakuové vypínače pro stejný počet napěťových hladin. Vypínače Siemens (3AH37/8) mají nejvyšší velikost jmenovitého proudu a nejvyšší vypínací schopnost. Výrobce ale u tohoto vypínače neuvádí počet vypnutí při tomto zkratovém proudu. Vypínací schopnost vypínačů ABB (VD4) není o mnoho nižší, tyto vypínače ale zvládnou mnohem menší jmenovité proudy. Vypínač Siemens (3AH37/8) zvládá také vyšší hodnotu výdržného napětí a napěťovou špičku, jinak jsou hodnoty obdobné. Z hlediska životnosti stejně jako u stykačů je na tom lépe Siemens a to nejen při vypínání zkratových proudů (tyto hodnoty se moc neliší), ale zejména při vypínání jmenovitých proudů. Shodný počet vypnutí jako ABB nabízí Siemens jen u jednoho typu vypínače.

Proto pro aplikace s častějším spínáním je až na výjimky vhodnější vypínač ABB a pro aplikace s nejvyššími přenášenými výkony je vhodnější vypínač Siemens (3TLxx)

Tabulka 16. Srovnání vakuových vypínačů je uvedena v příloze.

5. Závěr

Výsledkem této bakalářské práce je seznámení čtenáře s teorií týkající se vakuového spínání. Dále vysvětlení obecného vakuového vypínače a obecného vakuového stykače z čehož jsou zřejmé jejich vzájemné rozdíly. Následuje publikování jednotlivých typů vakuových vypínačů a stykačů od společnosti ABB a Siemens. Nakonec je provedeno srovnání vybraných parametrů dle aktuální technické dokumentace. Nejlepší volbou vypínače pro spínání velkých výkonů je vypínač Siemens 3TLxx, pro vyšší četnost spínání jsou vhodnější vypínače ABB, které mají větší počet provozních cyklů. Srovnání vakuových stykačů dopadlo obdobně, pro vyšší spínané výkony jsou vhodnější stykače Siemens např. 3TL7 a pro vyšší četnost spínání je vhodný jakýkoliv stykač od ABB.

Vzhledem velkému množství typů a podrobné technické dokumentaci k jednotlivým vakuovým vypínačům a stykačům neumožňuje daný rozsah této bakalářské práce všechny tyto informace obsáhnout. Z tohoto důvodu se tato práce věnuje zejména hlavním typům vypínačů a stykačů bez různé specializace a pouze pro vnitřní využití.

Další vývoj tohoto projektu je možný v diplomové práci, která by umožnila obsáhnout větší počet nebo podrobnější popis těchto spínacích přístrojů a přidat např. naměřené charakteristiky a tak tyto přístroje lépe srovnat.

6. Použitá literatura

- [1] Havelka, O. *Elektrické přístroje*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985. ISBN 04-529-85.
- [2] Helštýn, D. – Kačor, P. – Hytka, Z. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jisticí*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0315-1.
- [3] Helštýn, D. *Vybrané typy elektrických přístrojů*. 1. vyd. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2167-2.
- [4] Firemní literatura Siemens – Vakuové stykače, 2011.
<http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-distribution/medium-voltage-indoor-devices/vacuum-contactors/>
- [5] Firemní literatura Siemens – Vakuové vypínače, 2011.
<http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-distribution/medium-voltage-indoor-devices/vacuum-circuit-breaker/>
- [6] Firemní literatura – Vakuové stykače ABB, 2011.
<http://www.abb.cz/product/cz/9AAC30200168.aspx?country=00>
- [7] Firemní literatura – Vakuové vypínače ABB, 2011,
<http://www.abb.cz/product/cz/9AAC754143.aspx?country=00>
- [8] Novotný, Vl. – Vávra, Z. *Spínací přístroje a rozvaděče na vysoké napětí*. 1. vyd. Praha: ZSNTL Alfa, 1986.

7. Seznam příloh

- 1 Tabulka 16. Srovnání vakuových vypínačů